



Une démarche préliminaire vers une caractérisation fiable en dynamique "application à un composite thermoplastique"

Fabien Coussa, Jacques Renard, Sébastien Joannès, R. Bompont, N. Feld

► To cite this version:

Fabien Coussa, Jacques Renard, Sébastien Joannès, R. Bompont, N. Feld. Une démarche préliminaire vers une caractérisation fiable en dynamique "application à un composite thermoplastique". CFM 2015 - 22ème congrès français de mécanique, Aug 2015, Lyon, France. 5 p. hal-01251207

HAL Id: hal-01251207

<https://hal.science/hal-01251207>

Submitted on 5 Jan 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Une démarche préliminaire vers une caractérisation fiable en dynamique "Application à un composite thermoplastique"

**F.COUSSA^{ab}, J.RENARD^a, S.JOANNES^a, R.BOMPOINT^b,
N.FELD^b**

a. Mines Paristech, PSL - Research University, Centre des Matériaux, CNRS UMR 763, BP87 91003 Evry Cedex, France.

fabien.coussa@mines-paristech.fr, jacques.renard@mines-paristech.fr,
sebastien.joannes@mines-paristech.fr,

b. PSA Peugeot-Citroën, Direction Recherche & Développement, Route de Gizy, 78943, Vélizy-Villacoublay, France.

remy.bompoint@mps.com, nicolas.feld@mps.com.

Résumé

De nombreuses études sur les matériaux composites à matrice organique, en particulier thermoplastique, ont montré que le comportement mécanique de tels matériaux est sensible à la vitesse de sollicitation. Cependant, il n'existe pas de consensus permettant de définir les moyens de caractériser, comparer et modéliser ce genre de comportement. Cette étude se focalise sur une démarche expérimentale visant à caractériser de manière robuste le comportement mécanique d'un composite à matrice polyamide 6,6 renforcé de fibres de verre tissées. Une large gamme de vitesses de déformation est étudiée (de $\dot{\epsilon}=10^{-4}s^{-1}$ à $\dot{\epsilon}=10^2s^{-1}$), à l'aide d'une machine de traction conventionnelle et d'une machine de traction à vitesses rapides. En regard des précautions qu'imposent les essais dynamiques, une investigation portant sur l'optimisation d'une géométrie d'éprouvette a été réalisée. Cette dernière assure la cohérence de l'identification des propriétés macroscopiques, ainsi que le respect de critères émanant de la littérature concernant les effets de forme et les phénomènes de propagation d'ondes de choc. Dans un second temps, afin de minimiser les oscillations dues au montage, un atténuateur d'ondes volumiques a été étudié à l'aide d'une simulation dynamique du montage d'essais. Les résultats révèlent une diminution de l'amplitude des oscillations de la force mesurée et une meilleure homogénéité des déformations dans la zone utile de l'éprouvette. Il en résulte une procédure robuste permettant d'aboutir à des données fiables et donc exploitables pour identifier un modèle.

Abstract

Many studies based on organic matrix composites, particularly thermoplastics, reveal a strain-rate dependant behavior. Nevertheless, there is no current consensus concerning experimental procedures, data acquisition, and constitutive modeling. This paper focuses on an experimental procedure aiming at performing a robust mechanical characterization of a woven GFRP Nylon 6,6. A wide range of strain-rates was investigated (from $\dot{\epsilon}=10^{-4} s^{-1}$ to $\dot{\epsilon}=10^2 s^{-1}$), by means of a conventional testing machine and an high speed tensile apparatus. In accordance with dynamic tests recommendations, an optimized geometry sample was designed. It ensures consistency of the identified macroscopic properties, and the respect of literature criteria based on size effects and wave propagation. Furthermore, in order to minimize fixture-induced noise, a shock wave dampener was studied by means of a dynamic numerical simulation of the fixture. Results revealed a diminution of fixture-induced noise on the measured force and a greater homogeneity of strains throughout the free length specimen. This study leads to a consistent procedure that generates accurate and trustworthy characterization data for identification purposes.

Mots clefs: Essais dynamiques, composites tissés, conception d'éprouvette, effets de vitesse.

Bénéficiant d'un excellent ratio entre propriétés mécaniques et densité volumique, les matériaux composites sont maintenant largement étudiés et utilisés dans les secteurs industriels du transport. Si les composites thermodurcissables renforcés de fibres de carbone sont majoritairement présent dans le secteur aéronautique, les composites thermoplastiques renforcés de fibres de verre sont considérés dans le secteur automobile. Plus précisément les composites renforcés de fibres de verre tissés thermo-compressés présentent des avantages en termes de mise en forme, de temps de fabrication et de coût. De ce constat est née l'ambition d'utiliser ces matériaux dans la fabrication de pièces structurales, telles que les renforts résistants aux chocs dans les véhicules. Il en découle la nécessité d'étudier ces matériaux sous des sollicitations rapides. Cependant, si les essais dans le régime quasi-statique sont normés, il existe un manque de procédure normative autour des essais dynamiques. Différents types de machine sont capables d'imposer de hautes vitesses de déformation. Les plus communément utilisées restent les puits de chute, les barres d'Hopkinson [1], et les machines servo-hydrauliques. Ces dernières permettent d'atteindre des vitesses de déformation dites intermédiaires, compatibles avec les gammes de vitesses du secteur automobile.

En outre, quel que soit le type de moyen utilisé, les essais dynamiques exacerbent des problèmes courants. En effet, les phénomènes de propagation d'ondes, d'hétérogénéité des déformations au sein de l'éprouvette, ainsi que de résonance sont fréquents. Le

temps de sollicitation étant très court devant le temps de relaxation du matériau, des champs de déformation hétérogènes peuvent biaiser la caractérisation. De plus, atteindre un taux de déformation élevé se traduit par un choc, qui entraîne bien souvent la résonance du montage et ainsi de fortes oscillations sur la mesure de force. Afin de pallier cela, les laboratoires utilisent des éprouvettes de dimensions réduites permettant de maximiser les temps de propagation d'onde et de réduire l'amplitude des forces engendrées [2]. Cependant, ces techniques et moyens spécifiques ne facilitent pas les comparaisons entre divers matériaux et peuvent même mener à des contradictions sur le même type de matériau [3, 4]. Partant de ce constat, cette étude présente, d'une part, un protocole de validation d'une éprouvette de dimensions réduites assurant la représentativité d'une éprouvette normée; d'autre part, les résultats d'une réflexion sur un atténuateur d'ondes de choc, permettant de minimiser la résonance du montage.

La géométrie d'éprouvette optimisée pour la dynamique est inspirée des critères sur les facteurs de formes proposés dans la littérature, spécifiant de conserver un rapport de 2 entre la longueur et la largeur de la zone utile [5]. De plus elle permet de respecter le critère issu des essais sur barres d'Hopkinson, indiquant qu'un minimum de trois allers-retours d'ondes est nécessaire pour atteindre l'équilibre dynamique au niveau de la zone utile [6]. La validation de l'éprouvette optimisée est une procédure faisant appel à plusieurs techniques, tant pour la phase réversible que pour la phase non-linéaire. Concernant la phase élastique, un protocole de stéréo-corrélation d'images *in-situ* a permis de vérifier et de comparer quantitativement, à un niveau de déformation imposé de 0.25%, les grandeurs élastiques ainsi que l'homogénéité des champs de déformation entre une éprouvette normée et la géométrie optimisée pour la dynamique (Figure1(a)). Ceci nous a amenés à sévérer le critère sur le facteur de forme en y incorporant une dépendance à la taille de la zone de mesure. Basée sur une éprouvette dont les fibres sont orientées à 45°, le critère proposé mène à $L \geq 2l + \frac{b}{2}$, où L est la longueur de la zone utile, l est la largeur et b est la base de mesure utilisée. La partie non-linéaire a pu être comparée à l'aide d'essais pilotés à iso-taux de déformation sur les courbes de réponse (Figure1(b)) et l'évolution des mécanismes de dégradation jusqu'à rupture, par le biais d'observations microscopiques *in-situ*.

Par ailleurs, afin d'accéder à des données dynamiques fiables en vue de l'identification d'un modèle de comportement, une minimisation des oscillations du montage a été réalisée en modifiant la géométrie du lanceur. Un concept d'atténuateur d'ondes de choc mécanique, constitué d'un segment à géométrie variable installé en série du lanceur, a été étudié via une simulation numérique en dynamique, reproduisant les conditions d'un essai à $\dot{\epsilon}=10^2 \text{s}^{-1}$. Cet atténuateur permet d'une part, d'obtenir une diminution notable de l'amplitude des oscillations mesurées par la cellule piézo-électrique (Figure2(a)) et, d'autre part, d'aboutir rapidement à un champ de déformations homogène dans la phase élastique du comportement (Figure2(b)). Cette procédure présente donc l'intérêt d'assurer une cohérence des propriétés identifiées entre les régimes statique et

dynamique, et permet aux résultats d'être exploitables pour de futures comparaisons avec d'autres types de matériaux ou l'identification de paramètres constitutifs.

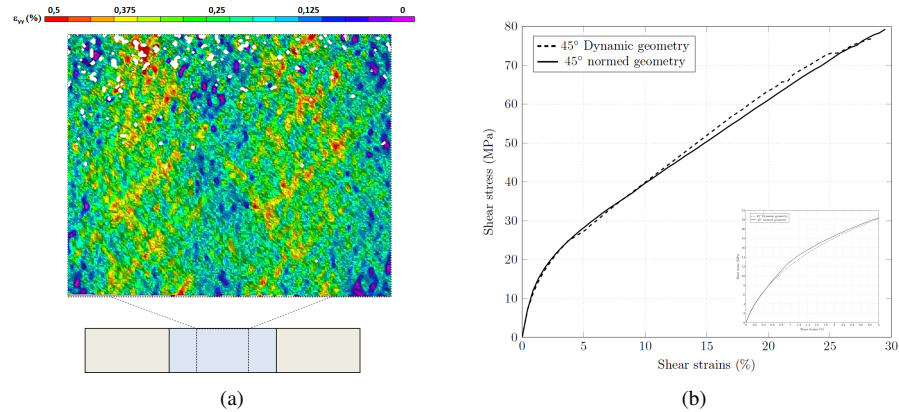


Figure 1: a) Champ de déformations sur une éprouvette optimisée obtenu par stéréocorrélation d'images lors d'un essai de traction à 45°. b) Comparaison de la réponse macroscopique entre une éprouvette normée et une éprouvette optimisée pour la dynamique à un taux de déformation imposé de $\dot{\epsilon}=10^{-4}\text{s}^{-1}$.

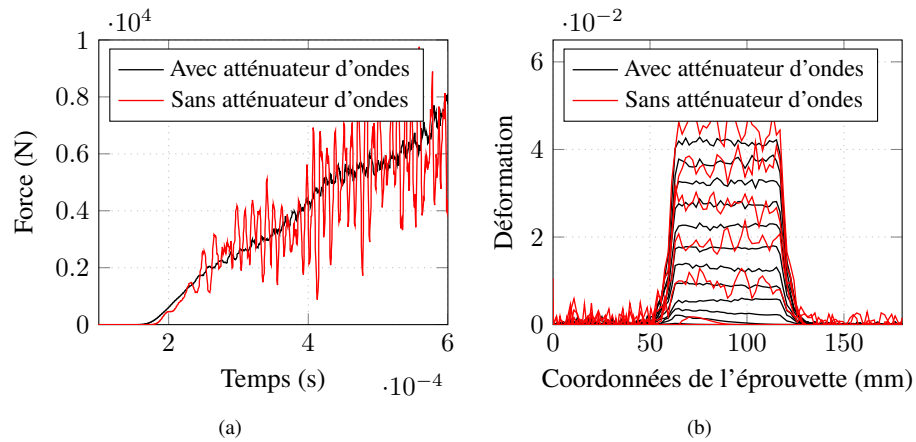


Figure 2: a) Influence de l'atténuation d'ondes sur la force mesurée par la cellule piézo-électrique. b) Influence de l'atténuation d'ondes sur l'homogénéité des déformations dans la zone utile de l'éprouvette, tracées à divers incréments de temps.

References

- [1] H Kolsky. Investigation of mechanical properties of materials at very high strain rate of loading. *Phys Soc Proc*, 62(359):676–700, 1949.
- [2] Julien Berthe, Matthias Brieu, Eric Deletombe, G Portemont, P Lecomte-Grosbras, and A Deudron. Consistent identification of cfrp viscoelatic models from creep to dynamic loadings. *Strain*, 49:257–266, 2013.
- [3] S Barre, T Chotard, and ML. Benzeggah. Comparative study of strain rate effects on mechanical properties of glass fibre-reinforced thermoset matrix composites. *Composite Part A*, 27:1169–1181, 1996.
- [4] Julien Berthe, E Deletombe, M Brieu, Gerald Portemont, and Pascal Paulmier. Dynamic characterization of cfrp composite materials -toward a pre-normative testing protocol - application to t700gc/m21 material. *Procedia Engineering*, 80:165–182, 2014.
- [5] P Harrison, M.J Clifford, and A.C Long. Shear characterisation of viscous woven textile composites: a comparison between picture frame and bias extension experiments. *Composite Sciences and Technology*, 64:1453–1465, 2003.
- [6] Xiran Xiao. Dynamic tensile testing of plastic materials. *Polymer Testing*, 27:164–178, 2008.